

EKONOMICZNE I ENERGETYCZNE PORÓWNANIE
RÓŻNYCH TECHNOLOGII PRODUKCJI RZEPAKU
UPRAWIANEGO NA BIODIESEL

Tomasz Dobek

Zakład Użytkowania Maszyn i Urządzeń Rolniczych, Akademia Rolnicza
ul. Papieża Pawła VI/3, 71-459 Szczecin
e-mail: tdobek@agro.ar.szczecin.pl

Streszczenie. W artykule przedstawiono ocenę różnych technologii produkcji rzepaku ozimego pod kątem ekonomicznym i energetycznym oraz obliczenie efektywności energetycznej produkcji biodiesla z rzepaku ozimego. Z badań wynika, że najbardziej optymalną pod względem efektywności ekonomicznej i energetycznej jest technologia produkcji rzepaku ozimego, w której wykonuje się uprawki późniwne i siew, wprowadzając uproszczenia w uprawie roli.

Słowa kluczowe: rzepak ozimy, uprawa, ocena ekonomiczna, ocena energetyczna, biopaliwo

WSTĘP

Przetwarzanie biomasy na energię ma liczne zalety do których zaliczyć możemy ograniczenie emisji związków toksycznych, redukcję efektu cieplarnianego, biodegradowalność. Zaletą tego typu paliwa jest jego odnawialność również możliwość zachowania ciągłości jego produkcji. Produkcja biopaliw może być elementem poprawiającym sytuację na rynku pracy, czyli umożliwia tworzenie nowych miejsc pracy. O koszcie wytwarzania biopaliw ciekłych decyduje w przeważającej części cena surowca, która to z kolei w głównej mierze zależy od stosowanych technologii oraz systemów dotacji dla rolnictwa. Ważnym elementem oceny produkcji biopaliw, obok kosztów jest rachunek efektywności energetycznej. Z rachunku tego wynika, jak wielkie trzeba ponieść nakłady energetyczne, aby uzyskać jednostkę energii w biopaliwach. Zaletą rachunku energetycznego jest jego niezależność od relacji cen, co umożliwia porównywanie uzyskiwanych wyników. Celem badań było przeprowadzenie ekonomicznej i energetycznej oceny różnych technologii produkcji rzepaku ozimego oraz obliczenie efektywności energetycznej produkcji biodiesla z rzepaku ozimego.

METODYKA I WARUNKI BADAŃ

Badania przeprowadzono w gospodarstwach rolnych województwa zachodniopomorskiego na glebie IIIa i IVa klasy bonitacyjnej. Koszty ponoszone w badanych technologiach składały się z kosztów eksploatacji zastosowanych narzędzi i ciągników, kosztów robocizny oraz materiałów. Jednostkowy koszt eksploatacji agregatu obliczony był zgodnie z metodyką IBMER [3]. Całkowite koszty badanych technologii obliczono z zależności (1):

$$K_{tech} = \sum K_{mat} + \sum K_{agr} + \sum K_{pal} + \sum K_r \quad (\text{zł}\cdot\text{ha}^{-1}) \quad (1)$$

gdzie: K_{tech} – koszty badanej technologii, ($\text{zł}\cdot\text{ha}^{-1}$), $\sum K_{mat}$ – suma kosztów wykorzystanych materiałów, ($\text{zł}\cdot\text{ha}^{-1}$), $\sum K_{agr}$ – suma kosztów wykorzystanych agregatów, ($\text{zł}\cdot\text{ha}^{-1}$), $\sum K_{agr}$ – suma kosztów zużytego paliwa, ($\text{zł}\cdot\text{ha}^{-1}$), $\sum K_r$ – suma kosztów pracy ludzkiej, ($\text{zł}\cdot\text{ha}^{-1}$).

Do analizy nakładów energetycznych ponoszonych na produkcję rzepaku ozimego zastosowano metodę obliczeń opracowaną przez IBMER [1,2]. Dodatkowo w założeniach uwzględniono najnowsze wskaźniki energochłonności jednostkowej [5]. Wskaźniki energetyczne dotyczące procesów technologicznych przetwarzania ziemiopłodów na biopaliwa zaczerpnięto z literatury zagranicznej [4]. W przeprowadzonych badaniach technologie różniły się sposobem przygotowania roli do siewu i zastosowanym siewnikiem. Energochłonność skumulowaną dla badanych technologii obliczono z zależności (2):

$$E_{tech} = \sum E_{mat} + \sum E_{agr} + \sum E_{pal} + \sum E_r \quad (\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}) \quad (2)$$

gdzie: E_{tech} – energochłonność badanej technologii, ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$), $\sum E_{mat}$ – suma energochłonności stosowanych materiałów i surowców, ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$), $\sum E_{agr}$ – suma energochłonności wykorzystanych agregatów, ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$), $\sum E_{pal}$ – suma energochłonności zużytego paliwa, ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$), $\sum E_r$ – suma energochłonności pracy ludzkiej, ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$).

Natomiast wskaźniki energetyczne dotyczące procesów technologicznych związanych z przetwarzaniem ziemiopłodów na biopaliwa zaczerpnięto z literatury zagranicznej [4], a wartości wskaźników efektywności energetycznej, dla badanych technologii obliczono z zależności (3):

$$W_{ee} = \frac{\sum W_{prod}}{\sum W_{prz}} \quad (3)$$

gdzie: W_{ee} – wskaźnik efektywności energetycznej badanej technologii, $\sum W_{prod}$ – energochłonność wykorzystana do produkcji oraz przetworzenia uzyskanego plonu, ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$), $\sum W_{prz}$ – energochłonność odzyskana w postaci biopaliwa i biomasy badanych technologii, ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$).

Technologia T-1 była technologią konwencjonalną (tradycyjną), w której wykorzystywane są agregaty drogie, o dużej wydajności. W technologii przygotowania gleby pod zasiew i w technologii siewu stosuje się agregaty:

1. przygotowujące glebę do siewu – zaraz po zbiorze przedplonu wykonuje się uprawki późniwe, a następnie – orkę siewną. Przed siewem wykonuje się doprawianie gleby:
 - a) broną talerzową, o szerokości roboczej 6,3 m,
 - b) pługiem lemieszowym, o szerokości roboczej 2,4 m,
 - c) kompaktorem, o szerokości roboczej 6 m.
2. do siewu rzepaku:
 - a) zestaw uprawowo-siewny, o szerokości roboczej 4 m.

Technologia T-2 była technologią, w której wykonuje się uprawki późniwe, i siew. W technologii przygotowania gleby pod zasiew i w technologii siewu stosuje się agregaty:

1. przygotowujące glebę do siewu – zaraz po zbiorze przedplonu wykonuje się bronowanie, a następnie przed siewem – kultywatorowanie:
 - a) broną talerzową, o szerokości 6,3 m,
 - b) kultywatorem podorywkowym, o szerokości roboczej 6 m,
2. do siewu rzepaku:
 - a) zestaw uprawowo-siewny, o szerokości roboczej 4 m.

Technologia T-3 była technologią siewu bezpośredniego, w której rezygnuje się z przygotowania gleby, a siew wykonuje się bezpośrednio w ściernisko:

siewnikiem do siewu bezpośredniego, o szerokości roboczej 6 m.

Nawożenie wykonano czterokrotnie rozsiewaczem N 046 (we wszystkich technologiach wykonano takie samo nawożenie NPK), siew siewnikiem Rau Kombisem typu KRJ (technologie T-1, T-2) i siewnikiem John Deere 750 A (technologia T-3), natomiast czterokrotną ochronę przeprowadzono za pomocą opryskiwacza Krukowiak, a do jednoetapowego zbioru wykorzystano kombajn John Deere 2266.

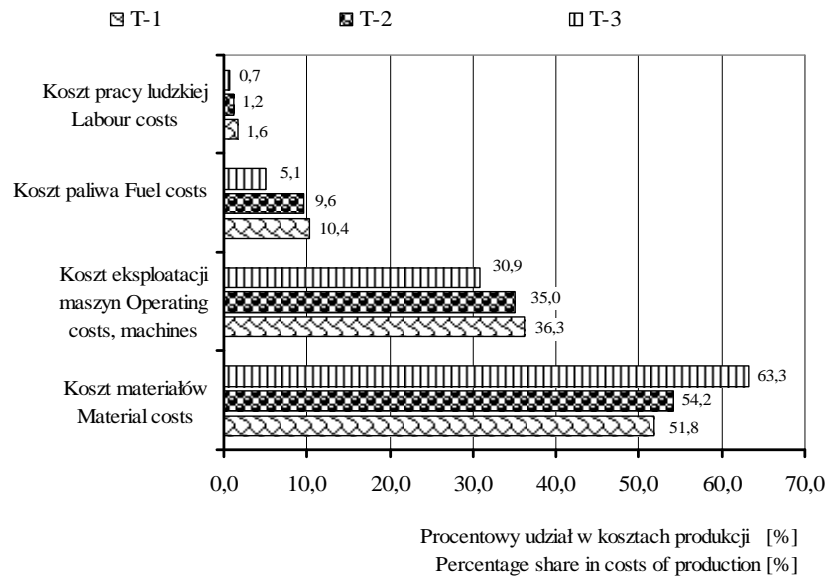
WYNIKI I DYSKUSJA

Analizując całkowite koszty produkcji rzepaku ozimego w technologiach T-1, T-2 i T-3 można stwierdzić, że najniższe koszty produkcji, w przeliczeniu na jeden hektar, uzyskano w technologii T-3 ($1671,8 \text{ zł}\cdot\text{ha}^{-1}$), a najwyższe w technologii tradycyjnej T-1, gdzie koszty wyniosły $1871,1 \text{ zł}\cdot\text{ha}^{-1}$ (tab. 1). Jednak w przeliczeniu na jednostkę masy uzyskanego plonu, to najwięcej kosztowało wyprodukowanie jednej tony rzepaku w technologii T-3 ($633,3 \text{ zł}\cdot\text{t}^{-1}$), natomiast w technologii T-1 nastąpiło obniżenie kosztów o $55,8 \text{ zł}\cdot\text{t}^{-1}$ (spadek o 8,8%), a w technologii T-2 o $165,4 \text{ zł}\cdot\text{t}^{-1}$ (spadek o 26,1%).

Tabela 1. Koszty produkcji rzepaku ozimego w badanych technologiach
Table 1. Costs of winter rape production in the technologies studied

Wyszczególnienie – Specification	Badane technologie Technologies studied		
	T-1	T-2	T-3
	zł·ha ⁻¹		
Koszty eksploatacji maszyn bez paliwa i pracy ludzkiej Machine operating costs without fuel and labour	678,6	625,9	516,3
Koszt paliwa Fuel costs	194,0	171,5	85,9
Praca ludzka Labour costs	30,1	21,5	11,2
Materiały i surowce Materials and raw materials	968,4	968,4	1058,4
Razem Total	1871,1	1787,3	1671,8
Koszt wyprodukowania (zł·t ⁻¹) Costs of production (PLN/ton)	577,5	467,9	633,3
Efektywność ekonomiczna Economic efficiency	1,47	1,82	1,34

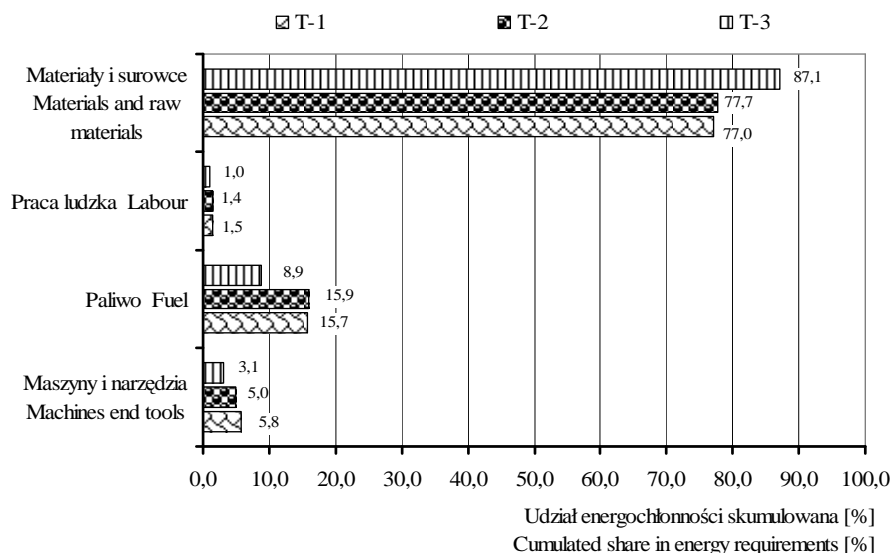
Różnice te związane były z uzyskiwanymi plonami. W strukturze kosztów produkcji największy udział miały koszty materiałów i surowców, koszty eksploatacji maszyn i narzędzi, koszty paliwa oraz koszty pracy ludzkiej. W badanych technologiach koszty materiałów i surowców wyniosły $968,4 \text{ zł}\cdot\text{ha}^{-1}$ tj. 50,7%, co stanowi 51,8% całkowitych kosztów produkcji w przypadku technologii T-1, 54,2% dla technologii T-2 i 63,3% w przypadku technologii T-3 (rys. 1). Znaczącą pozycją jest też koszt eksploatacji maszyn i narzędzi, który wyniósł $678,6 \text{ zł}\cdot\text{ha}^{-1}$ (36,3%) w przypadku technologii T-1, $625,9 \text{ zł}\cdot\text{ha}^{-1}$ (35%) w technologii T-2, a w T-3 $516,3 \text{ zł}\cdot\text{ha}^{-1}$ (30,9%).



Rys. 1. Struktura kosztów produkcji rzepaku ozimego w badanych technologiach
Fig. 1. Structure of winter rape production costs in the technologies studied

Rozpatrując natomiast koszty eksploatacji maszyn i narzędzi w poszczególnych zabiegach można stwierdzić, że w produkcji rzepaku ozimego w technologii T-1 najwyższe koszty związane były z uprawą roli (41,3%) oraz zbiorem (28,7%), a w technologii T-2 najwyższe koszty wystąpiły przy zbiorze (39,2%) i uprawie roli (23,4 %). Natomiast w technologii T-3 najwyższe koszty wystąpiły przy kombajnowym zbiorze rzepaku (44,2%) i siewie (37,2%). Współczynnik efektywności ekonomicznej w analizowanych technologiach wyniósł – 1,47 dla technologii T-1, 1,82 dla technologii T-2 i 1,34 dla technologii T-3.

Z analizy energochłonności skumulowanej ocenianych technologii produkcji rzepaku ozimego można stwierdzić, że najwyższą energochłonnością skumulowaną charakteryzowała się technologia T-1 i jej wartość wyniosła 21959 MJ·ha⁻¹. Była ona wyższa o 210,3 MJ·ha⁻¹ (o 1%) od energochłonności produkcji w technologii T-2, w której energochłonność wyniosła 21749 MJ·ha⁻¹ i o 2446 MJ·ha⁻¹ (11,2%) w stosunku do technologii siewu bezpośredniego T-3. W strukturze energochłonności skumulowanej największym, udziałem charakteryzowały się materiały i surowce, a najmniejszym praca ludzka (tab. 2). W badanych technologiach produkcji rzepaku ozimego energochłonność skumulowana materiałów i surowców wahała się od 77,1% (technologia T-1) do 87,1% w przypadku technologii T-3 całkowitej energochłonności skumulowanej (rys. 2).



Rys. 2. Struktura energochłonności produkcji rzepaku ozimego w badanych technologiach
Fig. 2. Structure of energy requirements of winter rape production in the technologies studied

Rozpatrując natomiast energochłonność skumulowaną maszyn i narzędzi wykorzystanych w badanych technologiach można stwierdzić, że największą energochłonnością skumulowaną charakteryzowała się uprawa roli i kombajnowy zbiór rzepaku (technologia T-1 i T-2), natomiast w technologii T-3 zbiór i siew nasion. W technologii T-1 uprawa roli wyniosła 40,6%, a kombajnowy zbiór 29,1% energochłonności skumulowanej użytych maszyn i narzędzi, natomiast w technologii T-2 odpowiednio 24,8% i 39,7%. Natomiast w technologii T-3 kombajnowy zbiór wyniósł 51,1%, a siew 17,3% całkowitej energochłonności skumulowanej maszyn i narzędzi. Współczynnik efektywności energetycznej w analizowanych technologiach wyniósł – 1,77 dla technologii T-1, 2,11 dla technologii T-2 i 1,62 dla technologii T-3 (tab. 2).

W analizowanych technologiach produkcji rzepaku ozimego i przetworzeniu jego plonu na biodiesel energochłonność skumulowana wahała się od 30597 MJ·ha⁻¹ w technologii T-3 do 37900 MJ·ha⁻¹ w technologii T-2, natomiast udział energochłonności w przetworzeniu plonu rzepaku ozimego na biodiesel wyniósł 13699 MJ·ha⁻¹ (38,4%) w technologii T-1, 16151 MJ·ha⁻¹ (42,6%) w technologii T-2 i 11162 MJ·ha⁻¹ (36,5%) dla technologii T-3.

Przeliczając uzyskane produkty na jednostkę energii można stwierdzić, że uzysk energii netto (bez uwzględniania wartości energetycznej słomy) w przypadku produkcji biodiesla, w badanych technologiach, jest dodatni. Wynosi on + 9734 MJ·ha⁻¹

Tabela 2. Energochłonność skumulowana produkcji rzepaku ozimego
Table 2. Cumulated energy requirements of winter rape production

Energochłonność Cumulative energy	Badane technologie – Technologies studied		
	T-1	T-2	T-3
Maszyny i narzędzia Machines end tools	MJ·ha ⁻¹		
	1 279	1 088	603
Paliwo – Fuel	3 451	3 456	1733
Praca ludzka – Labour	320	295	190
Materiały i surowce Materials and raw materials	16 909	16 909	16987
Razem – Total	21 959	21 749	19 513
Efektywność energetyczna Energy yield efficiency	1,77	2,11	1,62

Tabela 3. Bilans energetyczny produkcji i przetworzenia plonu rzepaku ozimego na biodiesel w badanych technologiach

Table 3. Energy balance of winter rape production and processing for bio-diesel fuel in the technologies studied

Wyszczególnienie – Specification	Jednostka Unit of measure	Badane technologie Technologies studied		
		T-1	T-2	T-3
Nakłady na produkcję – Outlays for production	MJ·ha ⁻¹	21959	21749	19435
Przetworzenie plonu na biopaliwo Processing of rape crop into bio-fuel	MJ·ha	13699	16151	11162
Razem – Total	MJ·ha	35658	37900	30597
Uzyskany biodiesel – Bio-diesel obtained	MJ·ha	1199	1413	977
Wartość energetyczna – Energy value	MJ·ha	43157	50882	35165
Śruta poekstraktowa – Energy gain, net	MJ·ha	1036	1218	842
Razem – Total	MJ·ha	45392	53514	36984
Uzysk energii netto – Post-extraction meal	MJ·ha	9734	15615	6387
Wskaźnik efektywności Index of efficiency	–	1,27	1,41	1,21
Wartość energetyczna słomy Energy value of straw	MJ·ha ⁻¹	43740	51570	35640

w technologii T-1, $+15615 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, natomiast w technologii T-3 $+6387 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, co oznacza, że mniejsze nakłady poniesiono na jego wyprodukowanie niż odzyskano w wyprodukowanym paliwie (tab. 3). Wykorzystując dodatkowo słomę do celów grzewczych poprawiono uzysk energii o 449% w technologii T-1, 230% w przypadku technologii T-2, a w technologii T-3 nawet o 568%.

W podsumowaniu można stwierdzić, że najwyższy wskaźnik efektywności energetycznej uzyskano przy produkcji biodiesla w technologii T-2 (1,41 bez uwzględnienia wartości energetycznej słomy), a najniższy w przypadku technologii T-1 (1,27 bez uwzględnienia wartości energetycznej słomy). Wykorzystując natomiast energetycznie słomę uzyskano wzrost wskaźnika efektywności energetycznej. W tym przypadku dla badanych technologii wskaźnik ten wyniósł: w technologii T-1 2,47 (wzrost o 94,5%), w technologii T-2 2,74 (wzrost o 94,3%), natomiast w technologii T-3 2,34 (wzrost o 94,4%).

WNIOSKI

1. Z badanych technologii produkcji rzepaku ozimego najbardziej efektywną pod względem efektywności ekonomicznej i energetycznej okazała się technologia T-2 wprowadzająca uproszczenia w uprawie roli.
2. Efektywność ekonomiczna produkcji rzepaku ozimego wahała się od 1,82 (technologia T-2) do 1,34 (technologia T-3).
3. Energochłonność skumulowana produkcji rzepaku wyniosła $21959 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ dla technologii T-1, $21749 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ dla technologii T-2 i $19435 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ w technologii T-3.
4. Najwyższy wskaźnik efektywności energetycznej uzyskano przypadku technologii bezorkowej T-2 (1,41). Wykorzystując, dodatkowo do celów energetycznych słomę, uzyskujemy wzrost tego wskaźnika prawie o sto procent (2,74).

PIŚMIENNICTWO

1. **Anuszewski R., Pawlak J., Wójcicki Z.:** Energochłonność produkcji rolniczej. Metodyka badań energochłonności produkcji surowców żywnościowych. Wyd. IBMER Warszawa, symbol dok. C XXXVIII/717, 1979.
2. **Kowalski i zespół:** Postęp naukowo-techniczny a racjonalna gospodarka energią w produkcji rolniczej. Wyd. PTIR Kraków, 2002.
3. **Muzalewski A.:** Koszty eksploatacji maszyn. Wyd. IBMER, Warszawa, 2002.
4. **Richards I.R.:** Energy balances in the growth of oilseed rape for biodiesel and of wheat for bioethanol. Levington Agriculture Report, British Association for Bio Fuels and Oils, 2000.
5. **Wójcicki Z.:** Wyposażenie i nakłady materiałowo energetyczne w rozwojowych gospodarstwach rolniczych. Wyd. IBMER Warszawa, 2002.

ECONOMIC AND ENERGY YIELD COMPARISON OF VARIOUS
TECHNOLOGIES FOR THE PRODUCTION OF RAPE
FOR BIO-DIESEL FUEL

Tomasz Dobek

Institute of Agricultural Machinery Operation, University of Agriculture
ul. Papieża Pawła VI/3, 71-459 Szczecin
e-mail: tdobek@agro.ar.szczecin.pl

Abstract. The paper presents an evaluation of various technologies for the production of winter rape in the economic and energy yield aspects, as well as a calculation of the energy yield efficiency of the production of bio-diesel fuel from winter rape. The study shows that the most effective, in terms of economic and energy yield efficiency, is the production of winter rape in which post-harvest tillage and sowing are performed, introducing simplification of soil tillage.

Keywords: rape, tillage, economic evaluation, energy yield estimation, bio-fuel